

EXCS 11 50 40 : 2021

# 말뚝재하시험

2021년 10월 19일 개정

<http://www.ex.co.kr/research>



## 고속도로공사 전문시방서 제·개정에 따른 경과 조치

「고속도로공사 전문시방서(EXCS ; Expressway Construction Specification)」는 국가건설기준(KCS ; Korea Construction Specification)를 기본으로 하여 고속도로 시공에 관련된 공종을 대상으로 작성한 종합적인 시방기준으로서, 단위공사 설계시 해당 공사의 특성과 여건 등에 맞게 「공사시방서」를 작성하는데 활용하기 위한 「전문시방서」(Guide Specification)이므로 관계법상 구속력과 계약도서로서의 효력이 없습니다.

이 시방기준 발간 시점에 이미 시행 중인 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있으며, 이 시방기준으로 공사시방서 작성 시 도로교통연구원 홈페이지 및 국가건설기준센터 홈페이지에 등재된 최신 시방기준을 반드시 확인 후 작성하시기 바랍니다.

※ 도로교통연구원 홈페이지 : <http://www.ex.co.kr/research/>

국가건설기준센터 홈페이지 : <http://www.kcsc.re.kr/>

# 전문시방서 제·개정 연혁

- 이 시방기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 고속도로공사 전문시방서와 국가건설기준(KCS) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 고속도로공사 전문시방서를 중심으로 KCS 11 50 40 등의 해당하는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

| 전문시방서               | 주요내용  | 제·개정<br>(년.월)   |
|---------------------|---|-----------------|
| 고속도로공사<br>전문시방서     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속도로공사 전문시방서를 제정</li> </ul>  | 제정<br>(1998.5)  |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제정 이후 개발된 신기술 및 신공법을 고속도로공사현장에 적용하기 위하여 개정함</li> </ul>                     | 개정<br>(2000.11) |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 시대적 흐름을 반영하고 건설기술 발전에 이바지함으로써 ‘신뢰받는 국민기업 실현’ 을 달성하기 위하여 개정함</li> </ul>     | 개정<br>(2004.12) |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2차 개정 이후 기술발전과 축적된 건설기술 노하우를 반영하기 위하여 개정함</li> </ul>                       | 개정<br>(2009.7)  |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로건설현장에 발전된 기술을 신속히 적용하기 위해 그간의 많은 연구성과와 축적된 건설기술 노하우를 반영하여 개정함</li> </ul> | 개정<br>(2012.10) |
| EXCS 11 50 40 :2018 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함</li> </ul>                                    | 제정<br>(2018.6)  |
| EXCS 11 50 40 :2021 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 코드체계화 이후 최신 건설기준을 신속히 적용하기 위해 개정함</li> </ul>                               | 개정<br>(2021.10) |

|                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 제 정 : 2018년 6월 19일             | 개 정 : 2021년 10월 19일        |
| 심 의 : 중앙건설기술심의위원회              | 자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회 |
| 소 관 부 서 : 국토교통부 도로정책과          |                            |
| 관련단체 (작성기관) : 한국도로공사 (도로교통연구원) |                            |

# 목 차

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1. 일반사항 .....                   | 1 |
| 1.1 적용 범위 .....                 | 1 |
| 1.2 참고 기준 .....                 | 1 |
| 1.3 용어의 정의 .....                | 1 |
| 1.4 제출물 .....                   | 1 |
| 2. 자재 .....                     | 2 |
| 2.1 말뚝 .....                    | 2 |
| 2.1.1 말뚝 .....                  | 2 |
| 2.2 장비 .....                    | 2 |
| 2.2.1 정재하시험 장치, 재하하중 및 시험기기 ... | 2 |
| 2.2.2 동재하시험장치 및 시험수행자료 .....    | 2 |
| 3. 시공 .....                     | 2 |
| 3.1 시공조건 확인 .....               | 2 |
| 3.2 축방향 정적 압축재하시험(정재하시험) .....  | 3 |
| 3.3 동재하시험 .....                 | 4 |
| 3.4 수평재하시험 .....                | 5 |
| 3.5 향타말뚝 시공관리기준 작성방법 .....      | 5 |
| 3.5.1 일반적인 방법 .....             | 5 |
| 3.5.2 간편법 .....                 | 5 |
| 3.6 현장품질관리 .....                | 5 |

## 말뚝재하시험

### 1. 일반사항

#### 1.1 적용 범위

- (1) 말뚝재하시험의 적용 범위는 KCS 11 50 40 (1.1)에 따른다.
- (2) 이 기준에서 제시되지 않은 양방향재하시험, 연직인발재하시험은 각각 KCS 11 50 40 (2.2), (2.4)에 따른다.

#### 1.2 참고 기준

- EXCS 10 10 05 공사일반
- EXCS 10 10 10 공무행정요건
- EXCS 11 50 15 기성말뚝
- EXCS 14 20 11 철근공사
- KCS 11 50 40 말뚝재하시험
- ASTM D 3966 90(reapproved 1995) Standard Test Method for Piles Under Lateral Loads
- ASTM D 4945 Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations
- KS F 2445 말뚝의 압축 정재하 시험방법
- KS F 2591 말뚝의 동적재하 시험방법
- KS F 7003 대구경 현장타설말뚝의 양방향 재하시험

#### 1.3 용어의 정의

- 용어의 정의는 KCS 11 50 40 (1.4)에 따른다.

#### 1.4 제출물

- (1) EXCS 10 10 05 (1.7(12)) 및 EXCS 10 10 10 (1.8)에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다. 시공계획서에는 다음의 사항이 포함되어야 한다.

- ① 재하시험 일정표
- ② 재하시험 방법 및 관련규정
- ③ 재하시험 장비의 종류 및 규격(정재하시험의 경우 구조계산서 첨부)
- ④ 교정검사 성적서
- ⑤ 재하장치 설치도(평면도, 입면도등)
- ⑥ 재하시험 실적표

- (2) 재하시험 완료 후에는 다음 사항을 추가로 제출하여야 한다.

- ① 말뚝재하시험 보고서

## 2. 자재

### 2.1 말뚝

#### 2.1.1 말뚝

- (1) 말뚝 자재는 EXCS 11 50 15 (2)에 따른다.
- (2) 철근 자재는 EXCS 14 20 11 (2)에 따른다.

### 2.2 장비

#### 2.2.1 정재하시험 장치, 재하하중 및 시험기기

- (1) 재하장치는 계획된 최대시험하중 이상을 안전하게 재하할 수 있는 것이어야 하며, 공사감독자의 확인을 받아야 한다.
- (2) 재하하중은 시험목적에 따라 예상된 말뚝의 극한지지력 이상, 혹은 허용지지력에 안전계수를 고려한 값 이상으로 한다.
- (3) 말뚝재하시험을 할 때 반력말뚝을 사용할 경우에는 인발저항력에 대하여 검토한 후 그 결과를 공사감독자에게 제출하여 확인을 받아야 한다.
- (4) 재하하중 측정에는 전자식 하중계 또는 유압계를 사용하여야 한다.
- (5) 재하시험에 사용되는 전자식 하중계(또는 유압잭), 변위계 및 유압계는 공인교정기관의 검증을 받은 것이어야 하며, 교정 유효기간(1년)이 경과하지 않은 것이어야 한다.

#### 2.2.2 동재하시험장치 및 시험수행자료

- (1) 동재하시험에는 항타분석기 또는 이와 동등한 성능을 가진 장비를 사용하여야 하며, 부수장비로는 변형률계, 가속도계 및 연결케이블 등이 있다. 이들 장비는 동재하시험 전문기술자에 의해 제공되어야 하며 ASTM D 4945 : 고변형률 표준 동재하시험 방법 (standard test method for high-strain dynamic testing of piles)의 요구조건에 부합되는 것이어야 한다.
- (2) 동재하시험은 소정의 동재하시험 교육을 이수하고 파동이론에 대한 전문지식을 갖춘 전문기술자에 의해 수행되어야 한다.

## 3. 시공

### 3.1 시공조건 확인

- (1) 현장조건이 재하시험을 위한 발판 및 하중을 지지할 수 있는지 확인하여야 한다.
- (2) 시험장비를 위한 안정된 작업표고를 설정하여야 한다.
- (3) 시험위치에 대하여 정밀한 지반조사를 실시하여야 한다.

### 3.2 축방향 정적 압축재하시험(정재하시험)

- (1) 반력말뚝을 이용하여 재하시험을 하는 경우 설계도서에 지정된 위치나 본말뚝에 실시하여도 된다. 단, 본말뚝에서는 설계하중의 2.0배까지 재하하는 것으로 한다.
- ① 시험말뚝은 연직으로 설치하여야 한다.
  - ② 반력말뚝은 인발하중에 저항하도록 필요할 때에는 보강하여야 한다.
- (2) 손상을 입지 않은 상태로 재하시험에 합격한 시험말뚝은 본말뚝으로 활용할 수 있다. 말뚝재하시험에 사용된 반력말뚝은 손상을 입지 않고, 3 mm 이상 상향 이동되지 않았다면 본말뚝으로 활용할 수 있다.
- (3) 손상된 시험말뚝과 반력말뚝은 뽑아내어 제거하거나 기초하단에서 1.0 m 아래부분까지 절단하여 제거하여야 한다. 제거된 구멍에는 콘크리트나 모르타르로 채워야 한다.
- (4) 말뚝재하시험장치, 하중재하 및 변위량 측정, 표준측정절차 등은 공사감독자가 확인한 것이어야 하며, 재하시험 절차는 다음과 같다.
- ① 기성말뚝의 정재하시험은 말뚝을 타입한 후 30일 이상 경과한 후에 실시하여야 한다. 다만, 현장여건에 따라 공사감독자가 승인한 경우에는 30일이 경과하지 않은 경우라도 정재하시험을 실시할 수 있다.
  - ② 현장타설말뚝이 소정의 양생과정을 거친 후에 정재하시험을 실시하여야 한다.
  - ③ 하중은 개별말뚝에 대한 설계하중의 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 % 되도록 최소 8단계로 증대하여 재하한다.
  - ④ 각 단계별 하중재하 후 시간당으로 환산한 말뚝의 침하율이 0.25 mm/h 미만이면 다음 단계의 하중을 증대시킨다. 만약 하중재하 후, 2시간이 경과하여도 시간당으로 환산한 말뚝의 침하율이 0.25 mm/h 이상이 되면 해당 단계에서 말뚝이 안정되지 못한 것으로 간주하고 다음 단계의 하중을 증대시킨다.
  - ⑤ 최대시험하중이 설계하중의 200 % 에 도달하기 이전이라도 급격한 파괴현상이 발생되거나 말뚝 지름의 10 % 에 해당하는 총 침하량이 발생하면 말뚝의 재하시험을 중단할 수 있다.
  - ⑥ 최대시험하중이 설계하중의 200 % 에 도달하여도 말뚝의 극한지지력이 확인되지 않는 경우 200 % 의 하중을 장시간 유지하면서 침하량을 측정하여야 한다. 200 % 하중재하 후, 시간당으로 환산한 말뚝의 침하율이 0.25 mm/h 미만이면 12시간 동안 하중을 유지한 후 재하시험을 종료하여야 한다. 200 % 하중재하 후 12시간이 경과하여도 시간당으로 환산한 말뚝의 침하율이 0.25 mm/h 이상이 되면 24시간 동안 하중을 유지하도록 한 후, 하중을 제거하여야 한다.
  - ⑦ 최대시험하중 재하 후에는 말뚝설계하중의 25 % 씩 1시간 간격을 두고 하중을 제거하여야 한다.
- (5) 본말뚝이 되는 반력말뚝은 소요지지력의 70 % 보다 큰 인발하중을 받지 않게 하여야 한다.
- (6) 시험말뚝의 지내력 검토는 다음과 같다.
- ① 말뚝의 지반지지력 (R)은 설계하중 또는 말뚝반력( $P_N \text{ max}$ )보다 최소 2배 이상을 재하하여야 한다. 즉,

$$R \geq 2 \times P_N \max \quad (3.2-1)$$

② 재하시험에서 얻은 하중-침하 곡선에서 설계하중 또는 말뚝반력 ( $P_N \max$ )에 해당하는 침하량( $S_{PN \max}$ )은 허용연직 침하량( $S_{all}$ )보다 작아야 한다. 즉,

$$S_{PN \max} \leq S_{all} \quad (3.2-2)$$

여기서,  $S_{PN \max}$  : 설계하중 또는 말뚝반력에 해당하는 침하량

$S_{all}$  : 상부구조물의 교대 및 교각의 지점침하량을 말하며, 상·하부 구조물의 형식에 따라 달라지는 허용연직침하량을 말한다. 만약 이 값을 설계도서에서 알 수 없는 경우에는 10 mm를 사용한다.

- (7) 공사감독자는 시험말뚝 또는 다른 말뚝의 거동에 특이성 및 변태를 나타내거나, 지내력에 의문을 갖게 하는 경우에는 설계도서 및 특별조항에 명시되어 있지 않더라도 수급인에게 추가 재하시험을 요구할 수 있다.
- (8) 재하시험이 완료되면 수급인은 토질·지질 분야 특급기술자 이상의 전문기술자의 검토를 받아 즉시, 각 시험말뚝에 대한 시험보고서를 공사감독자에게 제출하여야 한다.

### 3.3 동재하시험

- (1) 동재하시험 말뚝으로 지정된 시험말뚝에 대하여는 박는 도중에 초기항타 동재하시험(End Of Initial Driving, EOID)을 실시하여야 한다. 또한 시간경과효과 확인 및 본 시공 말뚝에 대한 품질확인을 위하여 지반조건에 따라 시공 후 일정시간이 경과한 후 재항타 동재하시험(restrike)를 시행한다.
- (2) 말뚝은 재하시험을 위한 지주를 세우기 전에 각 말뚝의 파동속도를 측정하고, 필요한 기구를 부착할 수 있도록 준비하여야 한다. 파동속도를 측정할 때 말뚝은 수평위치에 두고 다른 말뚝과 접촉되지 않게 하여야 한다.
- (3) 말뚝이 지주에 세워진 후 시험기구를 부착시키기 위하여 말뚝에 접근할 수 있어야 하며, 말뚝이 지주에 위치하고 있는 동안에 말뚝머리까지 올라갈 수 있도록 최소 1.2 × 1.2 m의 발판을 갖추어야 한다.
- (4) 동재하시험기구를 모든 상황에서 보호할 수 있도록 보관실을 갖추어야 하며, 보관실의 마루는 최소 2.5 × 2.5 m, 지붕높이는 최소 2.1 m 이어야 한다. 보관실의 내부온도는 8 °C 이상이어야 한다.
- (5) 말뚝은 동재하시험기구가 극한지지력에 도달되었다고 지시하는 깊이까지 박아야 한다. 말뚝에 작용하는 응력은 결정된 값이 허용값을 초과하지 않도록 동재하시험기구로 말뚝박기 중에 감시하여야 하며, 필요한 경우에는 응력을 허용값 이하로 유지하기 위하여 쿠션을 추가하거나 해머의 에너지 출력을 감소시켜서 말뚝에 전달되는 타격 에너지를 감소시켜야 한다. 동재하시험을 할 때 전문기술자와 공사감독자가 축방향타격에 대한 조정을 지시하는 경우에는 즉시, 말뚝박기 시설을 다시 정돈하여야 한다.
- (6) 재항타 동재하시험을 할 때에는 변위(mobilize)시킬 만큼 충분한 에너지를 가하여야 한다.
- (7) 동재하시험이 완료되면 수급인은 웨이브 메카닉(wave mechanics) 등 해당분야 전문기술자의 검토를 받아 각 시험말뚝에 대한 시험보고서를 공사감독자에게 제출하여야 한다.

- (8) 동재하시험이 완료되면 공사에 필요한 시공관리기준(최종관입량, 램 낙하높이 등)을 결정하여야 한다.

### 3.4 수평재하시험

- (1) 수평재하 시험은 KCS 11 50 40 (2.5)를 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 수평재하 시험은 현장여건에 맞춰 방법을 선택하되 시험회수는 공사감독자의 지시에 따른다. 단, 수평재하시험의 결과는 설계조건과 맞게 해석한 후 결과물을 제출하여야 한다. 특히, 흙쌓기부 말뚝의 수평저항능력 확인을 위하여 흙쌓기높이 20 m이상 교대에는 수평재하시험을 실시한다. (1회/교대)

### 3.5 항타말뚝 시공관리기준 작성방법

#### 3.5.1 일반적인 방법

- (1) 동재하시험 전에 시험말뚝에 가속도계와 변형률계를 부착하여야 한다.
- (2) 램낙하높이를 변화시키면서 말뚝의 관입깊이에 따라 항타응력, 지지력, 최종관입량, 항타장비의 적정성, 해머쿠션과 말뚝쿠션의 적정성, 말뚝이음부의 건전도, 편타분석 등을 조사하여야 한다.
- (3) (2)의 결과를 이용하여 본말뚝의 항타시공관리기준 즉, 램 낙하높이와 최종관입량을 결정하여 본말뚝을 시공하여야 한다.

#### 3.5.2 간편법

- (1) 항타장비가 원활하게 작동할 수 있는 램 낙하높이를 결정한다.
- (2) 3회 이상의 최종관입량 즉, 8, 5, 2 mm 정도에서 시험말뚝에 가속도계와 변형률계를 부착하여 동재하시험(EOID 방법)을 수행한다.
- (3) 이 관입량에 대하여 동재하시험 결과에서 추정된 허용지지력을 작도한다.
- (4) 본말뚝의 항타시공관리에 필요한 최종관입량의 범위는 상시의 설계하중 또는 말뚝반력에 해당하는 최대관입량에서 허용항타응력을 만족하는 최소관입량까지로 한다.
- (5) 매입말뚝의 동재하시험은 본 당 1회 정도 수행하므로 최종관입량의 범위를 얻지 못할 수도 있다. 이러한 경우 2~3분의 말뚝에서 최종관입량을 달리하여 최종관입량의 범위를 산정하는 것이 좋다.

### 3.6 현장품질관리

- (1) 시험방법과 결과를 측정, 기록하기 위하여 독립적인 검사기관을 선정, 의뢰할 수 있다.
- (2) 기록에는 사용된 시험장비, 검증 및 기록방법, 시험결과, 말뚝박기 방법에 대한 건의 및 수정 등을 포함하여야 한다.
- (3) 시험한 말뚝의 실제치수와 위치, 시험으로 인한 이동 또는 비틀림 등을 정확하게 기록하여야 한다.
- (4) 공사 중, 확인 재하시험은 공사 초기에 실시하며, 설계에 사용한 지내력과 말뚝시공의

적합성을 확인하여야 한다.

집필위원

| 성명  | 소속     | 성명  | 소속     |
|-----|--------|-----|--------|
| 남문석 | 한국도로공사 | 박영호 | 한국도로공사 |
| 정경자 | 한국도로공사 | 박아론 | 한국도로공사 |

자문위원

| 성명  | 소속         | 성명  | 소속     |
|-----|------------|-----|--------|
| 이지훈 | 서영엔지니어링    | 이원철 | 삼보기술단  |
| 엄종욱 | (주)케이에스엠기술 | 이선호 | 도담 ENG |
| 김충언 | 삼현 PF      |     |        |

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

| 성명  | 소속        | 성명  | 소속           |
|-----|-----------|-----|--------------|
| 이영호 | 한국건설기술연구원 | 김제경 | 경동엔지니어링      |
| 이용수 | 한국건설기술연구원 | 김기석 | (주)희송지오테크    |
| 구재동 | 한국건설기술연구원 | 김동민 | (주)한국종합기술    |
| 김태송 | 한국건설기술연구원 | 박이근 | (주)지오알앤디     |
| 최봉혁 | 한국건설기술연구원 | 최재희 | (주)이산        |
| 김기현 | 한국건설기술연구원 | 김운형 | (주)다산컨설팅     |
| 김희석 | 한국건설기술연구원 | 한상재 | (주)지구환경전문가그룹 |
| 류상훈 | 한국건설기술연구원 | 이규환 | 건양대학교        |
| 허원호 | 한국건설기술연구원 | 최용규 | 경성대학교        |
| 김나은 | 한국건설기술연구원 | 최원일 | 한국철도시설공단     |
| 주영경 | 한국건설기술연구원 | 김상환 | 호서대학교        |
| 이승환 | 한국건설기술연구원 | 김대홍 | 서울시립대학교      |
| 이여경 | 한국건설기술연구원 | 이용주 | 서울과학기술대학교    |
| 원훈일 | 한국건설기술연구원 | 최항석 | 고려대학교        |

중앙건설기술심의위원회

| 성명  | 소속        | 성명  | 소속         |
|-----|-----------|-----|------------|
| 곽재진 | 서울지방국토관리청 | 안지환 | 한국건설기술연구원  |
| 임광수 | (주)이산     | 정평기 | (주)화인씨이엠테크 |
| 이수빈 | 고려개발(주)   | 신중호 | 한국지질자원연구원  |
| 이충원 | 행정안전부     |     |            |

소관부처

| 성명  | 소속          | 성명  | 소속          |
|-----|-------------|-----|-------------|
| 장순재 | 국토교통부 도로정책과 | 김 호 | 국토교통부 도로정책과 |

고속도로공사 전문시방서  
EXCS 11 50 40 : 2021

## 말뚝재하시험

---

2021년 10월 발행

소관부서 국토교통부

관련단체 한국도로공사  
(39660) 경상북도 김천시 혁신8로 77 한국도로공사  
☎ 1588-2504(대표)  
<http://www.ex.co.kr>

작성기관 한국도로공사 도로교통연구원  
(18489) 경기도 화성시 동부대로 922번길 208-96  
☎ 031-8098-6044(품질시험센터)  
<http://www.ex.co.kr/research>

국가건설기준센터  
(10223) 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)  
☎ 031-910-0444  
<http://www.kcsc.re.kr>